Iranian Journal of Pulses Research
Homepage: https://ijpr.um.ac.ir
Vol. 13, No. 1, June 2022, p. 55-72
Original Research; DOI: 10.22067/ijpr.v13i1.2101-1001

پژوهش‌های حبوبات ایران
سال(دوره) ۱۳ شمارهٔ۱، نیمهٔ اوّل ۱۴۰۱
صفحهٔ ۷۲-۵۵ ، نوع مقاله: پژوهشی

بررسی تأثیر کود نانوکلات آهن بر عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای پروتئین دانه لوبیاقرمز (.*Phaseolus vulgaris* L) در شرایط تنش خشکی

سحر قاسمی[۱]، عیسی پیری[۲] و ابوالفضل توسلی[۳]*

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد زراعت، دانشگاه پیام نور، مرکز زاهدان، ایران؛ ghasemi.sahar@gmail.com
۲- دانشیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران؛ issapiri@pnu.ac.ir
۳- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران؛ a.tavassoli@pnu.ac.ir

تاریخ‌ها:
دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰، بازنگری: ۱۴۰۰/۰۷/۲۶، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۸؛ انتشار آنلاین مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۰۱

نحوه ارجاع به مقاله:
قاسمی، س.، پیری، ع.، و توسلی، ا. ۱۴۰۱. بررسی تأثیر کود نانوکلات آهن بر عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای پروتئین دانه لوبیاقرمز (.*Phaseolus vulgaris* L) در شرایط تنش خشکی. پژوهش‌های حبوبات ایران ۱۳(۱): ۷۲-۵۵.

چکیده

با توجه به نقش آهن در فرآیندهای متابولیکی گیاه از جمله افزایش کلروفیل، فتوسنتز و در نهایت افزایش عملکرد محصولات زراعی، تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر کود نانوکلات آهن بر برخی خصوصیات رشدی و عملکرد لوبیاقرمز تحت شرایط تنش خشکی به اجرا در آمد. آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه‌ای واقع در روستای طوهان شهرستان جیرفت، به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. سه سطح تنش خشکی شامل بدون تنش، تنش در مرحله رشد رویشی (قطع آبیاری در زمان ظهور سه‌برگچه اول و ظهور سه‌برگچه سوم) و تنش در مرحله رشد زایشی (قطع آبیاری در زمان آغاز گلدهی و گلدهی) به عنوان فاکتور اصلی و مصرف کود نانوکلات آهن در سه سطح ۰، ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان فاکتور فرعی درنظرگرفته شد. در این آزمایش صفات طول شاخه اصلی، تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن۱۰۰دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک، و درصد و عملکرد پروتئین دانه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آزمایش نشان داد که تیمار بدون تنش و مصرف ۱۰ کیلوگرم در هکتار کود منجر به حصول بالاترین مقادیر صفات طول شاخه اصلی (۶۷/۹ سانتی‌متر)، تعداد شاخه‌های فرعی (۱۱/۲)، تعداد غلاف در بوته (۲۱/۱)، وزن۱۰۰دانه (۲۹/۹ گرم)، عملکرد دانه (۸۶۱/۴ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد بیولوژیک (۴۷۱۱/۹ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد پروتئین دانه (۱۶۹/۲ کیلوگرم در هکتار) شد. البته برای صفات فوق و در شرایط بدون تنش، تفاوت آماری معنی‌داری بین مصرف ۱۰ و ۵ کیلوگرم در هکتار کود مشاهده نشد. همچنین وقوع تنش در هر دو مرحله رشد رویشی و زایشی سبب کاهش صفات مورد بررسی گردید، به‌طوری‌که کمترین مقادیر صفات تعداد دانه در غلاف، وزن۱۰۰دانه، عملکرد دانه، بیولوژیک و پروتئین دانه از وقوع تنش در مرحله رشد زایشی حاصل گردید. در بین صفات مورد بررسی نیز تنها درصد پروتئین دانه با اعمال تیمارهای تنش افزایش معنی‌داری نشان داد که این افزایش در تنش در مرحله رشد زایشی به میزان ۱۹/۲ درصد بیشتر از شرایط بدون تنش بود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده نتیجه گیری شد که کاربرد کودهای نانوکلات در هر یک از شرایط بدون تنش، تنش در مرحله رشد رویشی و تنش در مرحله رشد زایشی در مقایسه با عدم مصرف این نوع کود، اثر مثبتی بر خصوصیات رشدی و عملکرد گیاه داشت، به‌طوری‌که تنها برای عملکرد دانه که جزء اقتصادی و مهم لوبیاقرمز محسوب می‌گردد، مصرف ۱۰ کیلوگرم در هکتار کود در مقایسه با عدم مصرف آن به‌ترتیب در هر یک از شرایط بدون تنش، تنش در مرحله رشد رویشی و زایشی به‌ترتیب افزایش ۱۶/۲۰، ۱۳/۹۲ و ۱۱/۱۴ درصدی عملکرد حاصل گردید.

واژه‌های کلیدی: آهن؛ پروتئین؛ تنش خشکی؛ حبوبات؛ عملکرد

مقدمه

حبوبات به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع گیاهی غنی از پروتئین، بعد از غلات دومین منبع مهم غذایی انسان به‌شمار می‌روند. در سال ۱۳۹۸ سطح زیرکشت حبوبات در ایران

* نویسنده مسئول: a.tavassoli@pnu.ac.ir

۸۴۱۹۲۷ هکتار و تولید آن ۶۹۹۳۷۸ تـن بـرآورد شـده اسـت (Ahmadi *et al*., 2020). لوبیاقرمز با نام علمی *Phaseolus vulgaris* L. دومین گیاه لگوم مهم بعد از سویا است که سـهم عمده‌ای از رژیم غذایی بیش از ۳۰۰ میلیون نفر از مردم جهـان را تشکیل می‌دهد و به‌دلیـل دارابـودن پـروتئین، فیبـر و مـواد معدنی بالا به عنوان یک غذای کامل مطرح مـی‌باشـد (Raval & Navarro, 2019). بـا ایـن‌حـال، زراعـت لوبیـا همـواره بـا محدودیت‌های متعددی مواجه است کـه در میـان ایـن عوامـل محدودکننده تولید، تنش خشکی مهم‌ترین عامل محسوب شده و سهم قابل‌توجهی را در کاهش تولیـد ایـن محصـول بـه خـود اختصاص داده است، به نحوی‌که بر اساس مطالعات اخیـر تنهـا ۷درصـد از سـطح زیرکشـت جهـانی لوبیـا از مقـدار آب کـافی برخوردار است و ۶۰ درصد از تولید این محصول تحـت شـرایط تـنش خشـکی شـدید صـورت مـی‌گیـرد (Jamshidi *et al*., 2016). لذا به‌کارگیری روش‌هایی برای بهـره‌بـرداری صـحیح از آب موجود با استفاده از شیوه‌های صحیح زراعـی نظیـر کشـت ارقام متحمل، شناخت کمبود آب خـاک و رشـد محصـولات در هر مرحله، تغذیه مناسب گیاه و سایر عوامل مدیریتی که امکان توسعه هرچه بیشتر کشت گیاهـان در منـاطق خشـک و نیمـه خشـک را فـراهم کنـد، مفیـد خواهـد بـود (Heidari Sharifabadi, 2000).

یکی از اثرات مضر تنش خشکی، برهم‌زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است؛ بدین‌گونه که در اثر تنش خشکی تحرک عناصـر غذایی در خاک کم شده و جذب و انتقال مـواد بـه گیـاه دچـار اختلال می‌گردد. بنابراین انتظار می‌رود تأمین عناصـر موردنیـاز گیاه به‌خصوص عناصری که گیاه بیشتر با کمبـود آن‌هـا روبـرو است، بتواند مقاومت گیاه به تـنش را تـا حـدی افـزایش داده و وضعیت رشد گیاه را بهبود بخشد (Movahedy Dehnavy *et al*., 2009).

با به‌کارگیری نانوکودها، عناصر غذایی کود به‌تـدریج و بـه صورت کنترل‌شده در خاک آزاد می‌شوند کـه ایـن امـر موجـب افزایش راندمان و کیفیت منابع غذایی به‌واسطه سـرعت جـذب بالاتر، عدم اتلاف کودها از طریق آبشویی و جذب کامل کود بـه وسیله گیاه به‌دلیـل رهاسـازی عناصـر غـذایی کـود بـا سـرعت مطلوب در تمام طول فصـل رشـد مـی‌شـود. همچنـین بهبـود خواص انبارداری و سهولت جابجایی کود از مزایـای قابـل‌توجـه استفاده از نانوکودهـا در مقایسـه بـا کودهـای مرسـوم هسـتند (Barmaki *et al*., 2010). بررسی‌های انجام‌شـده نشـان مـی دهد که نانوکود کلات آهن در مقابـل تغییـر خشـکی، شـوری، اسیدیته و دما نسـبت بـه کودهـای کـلات آهـن واجـد برتـری ساختاری و کارکردی است (Baghaie Rezaei *et al*., 2009; Maleki Farahani, 2014; Peyvandi *et al*., 2015 &).

Khalaj *et al*, (2019) گزارش کردند که محلـول‌پاشـی نانوذرات منیزیم و نانوذرات آهن برخی صفات مورفولوژیک لوبیا مثل ارتفاع ساقه را به‌طور معنی‌داری نسبت بـه شـاهد افـزایش داد. این محققان یافتنـد کـه عملکـرد تعـداد غـلاف در بوتـه و وزن۱۰۰۰دانه لوبیا در ترکیب تیماری ۰/۵ گـرم در لیتـر آهـن معمولی و نـانوذرات منیـزیم افـزایش معنـی‌داری مـی‌یابـد. در آزمایش دیگری که به بررسی اثرات محلـول‌پاشـی اکسـید روی نانو و غیرنانو بر عملکـرد و اجـزای عملکـرد مـاش تحـت تـأثیر کمبود آب پرداخته شده بود، نتایج نشان داد که تنش خشـکی در مرحله گلدهی و غلافدهی به‌ترتیب باعـث کـاهش معنـی‌دار ۲/۲ و ۴ درصدی عملکرد نسبت به شاهد گردید. محلـول‌پاشـی با ۱۰ گرم نانوذرات اکسید روی در شرایط عدم تنش، تـنش در گلـدهی و غلافـدهی بـه‌ترتیـب باعـث افـزایش ۶/۶، ۳/۶ و ۵/۴ درصدی عملکرد نسبت به عدم کاربرد آن گردید (Shojaei & Makarian, 2014). Jalil Shesh Bahre & Movahedi Dehnavi (2012) آزمایشـــی را بـــه منظـــور بررســـی اثـــر محلول‌پاشی روی و آهن بر بنیه بذر سویا تحت سطوح مختلـف تنش خشکی انجام دادند. نتایج تحقیق نشـان داد کـه عملکـرد دانه، وزن خشک ریشه‌چه و سـاقه‌چـه بـا محلـول‌پاشـی روی و تیمار توأم روی و آهن افزایش یافت. به‌طور کلی محلـول‌پاشـی روی و کاربرد توأم روی و آهن توانست بیشتر صـفات را بهبـود بخشید.

با توجه به بحران کم‌آبی در منطقه جیرفت و کمبود مقدار آهن قابل‌جذب در بسیاری از خاک‌هـای ایـن منـاطق بـه‌دلیـل وجود بی‌کربنات فراوان در آب آبیاری و آهکی‌بودن خـاک، ایـن آزمایش به منظور بررسی نقش کود نـانوکلات آهـن بـر برخـی خصوصیات کمی و کیفی لوبیـاقرمز در منطقـه جیرفـت انجـام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعـه‌ای واقـع در روستای طوهان شهرسـتان جیرفـت اجـرا گردیـد. روسـتای طوهان از توابـع بخـش مرکـزی شهرسـتان جیرفـت در فاصـله ۴چهارکیلومتری و جنوب‌شرقی این شهرستان واقع شده اسـت. منطقه آزمایش در موقعیت جغرافیـایی" ۱۳ '۴۰ ۲۸ شـمالی و "۱۳ '۴۴ ۵۷ شرقی و ارتفاع ۶۵۰ متر از سطح دریا قرار گرفتـه اسـت. جیرفـت دارای تابسـتان‌هـای گـرم و نسـبتاً مرطـوب و زمستان‌هایی معتدل و کوتاه است. میزان بارندگی منطقه به‌طور میانگین بیش از ۲۲۰ میلی‌متر در سال می‌باشـد. سـایر عوامـل

مهم آب و هوایی منطقه در جدول ۱ ارائه شده است. مزرعـه در سال قبل از آزمایش تحت آیش قرار داشت. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کشت آزمایش در جدول ۲ نشـان داده شده است.

جدول ۱- داده‌های آب و هوایی منطقه طوهان شهرستان جیرفت در طول دوره رشد لوبیا

Table 1. Meteorological data of the Tohan region of Jiroft city during bean growth periods

ماه **Month**	مجموع بارندگی **Total rainfall (mm)**	مجموع تبخیر **Total evaporation (mm)**	میانگین حداکثر دما **Average maximum temperature (°C)**	میانگین حداقل دما **Average minimum temperature (°C)**
فروردین Mar./Apr.	73.4	121.5	20.1	8.2
اردیبهشت Apr./May	9.8	183.4	29.3	13.4
خرداد May/Jun.	7.1	272.3	34.8	18.3
تیر Jun./Jul.	0	291.8	36.2	21.4
مرداد Jul./Aug.	0	286.3	39.8	22.7
شهریور Aug./Sep.	0	243.7	33.7	18.1
سالیانه Annually	228.6	1975.7	24.5	8.3

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش

Table 2. Chemical and physical characteristics of experiment soil

بافت خاک **Soil texture**	کلسیم **Calcium (%)**	پتاسیم قابل جذب **Absorbable Potassium (ppm)**	فسفر قابل جذب **Absorbable Phosphorus (ppm)**	نیتروژن کل **Total Nitrogen (%)**	اسیدیته **pH**	هدایت الکتریکی **Electrical conductivity ($ds.m^{-1}$)**
لوم رسی Clay loam	0.67	216	7.82	0.14	7.92	1.87

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالـب طـرح پایـه بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل تنش خشکی در سه سطح S_1: بدون تنش، S_2: تنش در مرحلـه رشد رویشی و S_3: تنش در مرحله رشد زایشی به عنوان فاکتور اصلی و مصرف کود نانوکلات آهن در سه سطح N_1: ۰، N_2: ۵ و N_3: ۱۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان فاکتور فرعـی درنظرگرفتـه شدند. کود نانوکلات آهن استفاده‌شده در ایـن آزمـایش حـاوی ۹درصد آهن کلاته قابل حل در آب، ۱ درصـد روی و ۱ درصـد منگنز است و تولیدی شرکت دانش‌بنیان صدور احرار شرق بود.

زمین محل آزمایش در اوایل بهار قبل از کاشـت تـا عمـق ۳۰-۲۰ سانتی‌متر شخم زده شد. بلافاصله پس از انجـام شـخم، زمین دیسک زده شد و سپس تسطیح گردید. پـس از تسـطیح زمین، نقشه طرح آزمایش در مزرعه پیاده شد. ابعـاد هـر کـرت فرعی ۳ مترمربع درنظرگرفته شد. بدین صورت کـه هـر کـرت، شامل ۵خط کاشـت بـه طـول ۲متـر و فواصـل بـین ردیـف‌هـا ۳۰سانتی‌متر و فواصل بوته‌ها روی ردیف ۲۵سانتی‌متر بود. بین کرت‌های فرعی از یکدیگر ۱متر و کرت‌هـای اصـلی از یکـدیگر ۲متر فاصله داشت. عمق کاشت حدود ۲سانتی‌متر و در هر کپه دو تا سه بذر کاشته شد. برای کشـت لوبیـا نیـز از رقـم محلـی لوبیـاقرمز بـا درجـه خلـوص ۹۹درصـد اسـتفاده شـد. بـذور از کشاورزان لوبیاکار منطقه تهیه گردید. کشت بذور لوبیا به‌صورت خشکه‌کاری در تاریخ ۱۳۹۴/۱/۲۳ به‌صورت دستی انجام گرفت. پس از جوانه‌زنی بذور و استقرار مناسب بوته‌ها در خـاک، بـرای رسیدن به تراکم مورد نظر، تنـک در مرحلـه ۴-۳ برگـی انجـام گردید. آبیاری مزرعه مطابق با تیمارهای آزمایشی انجام گرفـت. بدین‌صورت که در تیمار بدون تنش، ۹مرحله آبیاری بـه‌ترتیـب در مراحل زمان کاشت، سبزشدن، ظهور برگ‌های اولیه، ظهـور سه‌برگچه اول، ظهور سه‌برگچـه سـوم، آغـاز گلـدهی (تشـکیل غنچـه)، گلـدهی، تشـکیل نیـام و پُرشـدن دانـه انجـام گرفـت (Ghanbari, 2015). هر یک از مراحل مذکور بر اساس زمـانی که ۵۰ درصد از بوته‌های هر کرت علائم ظهور را نشـان دادنـد، درنظر گرفته شد (Ghanbari, 2015). در تیمار قطـع آبیـاری در مرحله رشد رویشی آبیاری در زمان ظهور سـه‌برگچـه اول و ظهور سه‌برگچه سوم قطع گردیـد کـه مجموعـاً هفـت مرحلـه

آبیاری انجام گرفت و در تیمار قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی نیز آبیاری در زمان آغاز گلدهی (تشکیل غنچه) و گلدهی قطع گردید که برای این تیمار نیز مجموعاً هفت مرحله آبیاری انجام شد. مقدار آب مصرفی برای هر تیمار در جدول ۳ ارائه شده است. تجزیه شیمیایی آب مصرفی نیز در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۳- میانگین مقدار آب مصرف‌شده در هر نوبت آبیاری

Table 3. Average of consumed water amount per Irrigation frequency

تیمار **Treatment**	تعداد آبیاری **Number of irrigations**	میانگین هر نوبت آبیاری **Average per irrigation frequency ($m^3.ha^{-1}$)**	مجموع آبیاری در طول فصل رشد **Total irrigation during the growing season ($m^3.ha^{-1}$)**
آبیاری کامل (بدون تنش) Full irrigation (no stress)	9	690	6210
تنش در مرحله رشد رویشی Stress in vegetative growth stage	7	690	4830
تنش در مرحله رشد زایشی Stress in reproductive growth stage	7	690	4830

محاسبه مقدار آب مصرفی در هر نوبت آبیاری نیز بدین صورت بود که مقدار آب خروجی از موتور پمپ چاه بر حسب لیتر بر ثانیه روی هر موتور ثبت شده است. بنابراین با ثبت مدت زمانی که پمپ، آب را به داخل زمین وارد می‌کند مقدار آب مصرفی در هر دور آبیاری با استفاده از روابط ۱ محاسبه شد (Alizadeh, 2004):

$$Lit/s \times time = Lit \quad Lit/1000 = m^3 \qquad (1)$$

که در آن Lit: لیتر، s: ثانیه، time: مدت زمانی که آب به داخل زمین پمپاژ می‌شود، و m^3: مترمکعب. در انتها با داشتن مساحتی که آب پمپ‌شده از چاه، زمین را آبیاری کرده است، مقدار آب مصرفی برحسب متر مکعب در واحد سطح محاسبه شد.

جدول ۴- تجزیه شیمیایی آب آبیاری

Table 4. Chemical analysis of irrigation water

پارامتر **Parameter**	واحد **Unit**	مقدار **Amount**
Acidity اسیدیته	-	7.4
هدایت الکتریکی Electrical conductivity	($dS.m^{-1}$)	1.6
Total Nitrogen نیتروژن کل	($Mg.l^{-1}$)	-
Potassium پتاسیم	($mEq.l^{-1}$)	7.2
Phosphorus فسفر	($mEq.l^{-1}$)	-
Sodium سدیم	($mEq.l^{-1}$)	257.3
Calcium کلسیم	($mEq.l^{-1}$)	189.0
Magnesium منیزیم	($mEq.l^{-1}$)	75.6
Chlorine کلر	($mEq.l^{-1}$)	41.2
Iron آهن	($Mg.l^{-1}$)	-
Zinc روی	($Mg.l^{-1}$)	-
Manganese منگنز	($Mg.l^{-1}$)	-

در کل، در طول فصل رشد دو مرتبه بارندگی رخ داد (باتوجه به کشت محصول در هفته آخر فروردین، و عدم وقوع بارندگی در این هفته، دوره رشد و نمو محصول مصادف با بارندگی‌های فروردین ماه نشد) که به منظور عدم خطا در تیمارهای تنش در هنگام وقوع بارندگی از روکش پلاستیکی برای کرت‌های آزمایشی استفاده گردید. در زمان بارندگی به

منظور عدم انتقال آب در خاک به محل ریشه گیاهان، روکش پلاستیکی علاوه بر پوشاندن سطح ۳مترمربعی هر کرت، تا حاشیه ۱متری هر کرت آزمایشی نیز امتداد یافت. در این آزمایش به منظور بررسی اثر کودهای نانو از هیچ نوع کودی استفاده نشد. تیمارهای کودی نانوکلات آهن نیز مطابق با تیمارهای آزمایشی طی دو مرحله ۵۰ درصد گلدهی و ۵۰درصد تشکیل غلاف‌ها در مزرعه داخل کرت‌های مورد نظر اعمال شد. برای حصول اطمینان از یکنواخت‌قرارگرفتن کود در ناحیه توسعه ریشه در تمام سطح کرت، ابتدا کودهای مورد نظر در بطری کاملاً حل شده سپس در حین آبیاری به کرت‌های مربوطه اضافه شدند. در طول دوره رشد محصول نیز آفات و بیماری خاصی در مزرعه مشاهده نشد. برداشت غلاف‌های لوبیا نیز پس از حذف اثر حاشیه در سطح یک مترمربع از هر کرت در بازه زمانی ۲۱ تا ۳۰ شهریور ۹۴ با دست انجام گرفت. در این آزمایش صفات طول شاخه اصلی، تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن۱۰۰دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک، و درصد و عملکرد پروتئین دانه مورد بررسی قرار گرفت.

برای محاسبه عملکرد بیولوژیک، در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی دانه‌ها از سطح ۱مترمربع از هر کرت بوته‌ها برداشت شد و در شرایط مزرعه به مدت ۷۲ ساعت در سایه خشک گردید. پس از خشک‌شدن بوته‌های برداشت‌شده از هر کرت، وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید و به عنوان عملکرد بیولوژیک ثبت گردید. برای محاسبه عملکرد دانه نیز پس از جداکردن دانه‌ها از غلاف، وزن دانه‌ها به منظور محاسبه عملکرد دانه با ترازوی دیجیتالی دقیق وزن و در واحد سطح محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری غلظت نیتروژن دانه لوبیا، نمونه‌های لوبیا به آزمایشگاه منتقل شده و بعد از آسیاب‌کردن (با استفاده از دستگاه آسیاب دانه‌های سخت AG مدلA60 ساخت ایران) محتوی نیتروژن دانه تعیین گردید. برای اندازه‌گیری نیتروژن از روش کجلدال (از دستگاه کجلدال Jisico ساخت کره جنوبی) استفاده شد که شامل مرحله هضم، تقطیر و تیتراسیون می باشند (Piper, 2019). ضریب تبدیل درصد نیتروژن به درصد پروتئین برای لوبیا ۶/۲۵ می‌باشد (Piper, 2019). از حاصل ضرب درصد نیتروژن دانه در عدد ۶/۲۵ غلظت پروتئین دانه محاسبه گردید (Piper, 2019). همچنین از حاصل‌ضرب درصد پروتئین دانه در میزان دانه لوبیا در واحد سطح، عملکرد پروتئین دانه در واحد سطح محاسبه شد.

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۳ و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

طول شاخه اصلی و تعداد شاخه فرعی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که تنش خشکی، کود نانو و اثر متقابل این دو فاکتور اثر معنی‌داری بر طول شاخه اصلی و تعداد شاخه فرعی لوبیاقرمز داشت (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل فاکتورها نشان داد که بیشترین طول شاخه اصلی و تعداد شاخه فرعی گیاه به‌ترتیب با میانگین ۶۷/۹ سانتی‌متر و ۱۱/۲ عدد از تیمار بدون تنش و مصرف ۱۰ کیلوگرم در هکتار کود نانو (S_1N_3) حاصل شد. تفاوت آماری معنی‌داری بین این تیمار و تیمار بدون تنش و مصرف ۵کیلوگرم در هکتار کود نانو (S_1N_2) مشاهده نشد (شکل ۱، ۲). همچنین اعمال تیمارهای تنش در هر دو مرحله سبب کاهش طول شاخه اصلی و تعداد شاخه فرعی شد، البته این کاهش در مرحله رشد رویشی بیشتر از مرحله رشد زایشی بود که احتمالاً به‌دلیل همزمانی وقوع تنش با رشد فعال شاخه می‌باشد، به‌طوری‌که برای طول شاخه اصلی در هر سه سطح مصرف ۰، ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار کود نانو طول شاخه اصلی در شرایط تنش در مرحله رشد رویشی به‌ترتیب ۳۶/۷، ۴۰/۷ و ۴۱/۴ سانتی‌متر حاصل شد که در مقایسه با تیمار تنش در مرحله رشد زایشی به‌ترتیب در هریک از سه سطح مصرف ۰، ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار کود نانو کاهش ۱۴/۲، ۱۵/۳ و ۱۷/۶درصدی را نشان داد. همین نتیجه نیز برای تعداد شاخه فرعی مشاهده گردید و تنش در مرحله رشد رویشی در هر یک از سطوح مصرف۰، ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار کود نانو کاهش ۱۸/۸، ۲۳/۴ و ۲۲/۳ درصدی را در مقایسه با تنش در مرحله رشد زایشی منجر گردید. همچنین کمترین میزان طول شاخه اصلی و تعداد شاخه فرعی به‌ترتیب با میانگین ۳۶/۷ سانتی‌متر و ۴/۳ عدد در تیمار تنش در مرحله رشد رویشی و بدون مصرف کود (S_2N_1) مشاهده گردید (شکل ۱، ۲). برخی محققان اظهار داشتند در شرایط تنش، تخصیص مواد کربوهیدراتی بین اندام‌های مختلف گیاه تغییر می‌کند، لذا گیاه سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی را به ریشه جهت جذب رطوبت و عناصر غذایی در شرایط محدودیت رطوبت اختصاص می‌دهد و درنتیجه مواد فتوسنتزی کمتری به بخش‌های هوایی از جمله ساقه می‌رسد که این امر سبب کاهش سهم شاخساره و ارتفاع بوته می‌گردد (Silva *et al*., 2012). Emadi *et al*, (2012) در آزمایشی بر روی لوبیاقرمز نشان دادند تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر کاهش ارتفاع این محصول داشت. در شرایط تنش، کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز موجب کاهش پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ‌شدن سلول‌ها می‌گردد. تعداد شاخه

فرعی در گیاه به میزان رشد رویشی گیاه بستگی داشته و نتایج بررسی‌های محققان نشان داده است استفاده از کودهای آهن‌دار سبب تعدیل شدت تنش خشکی و بهبود رشـد گیـاه گردیـده و اثر مثبت بر افزایش تعداد شـاخه فرعـی در سـویا دارد. در ایـن تحقیق نشان داده شد که در شرایط اقلیمی شهرستان شهرکرد مصرف محلول‌پاشی کود سولفات آهـن در شـرایط تـنش ۸۰ و ۱۰۰میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر اثـرات منفـی تـنش را بـر روی رشد گیاه در مقایسه با عدم محلول‌پاشی کود کـاهش مـی دهد. مطابق با نظر این محققان، آهن عنصر اصلی در فتوسـنتز، سنتز پروتئین، کربوهیدرات، چربی‌ها و تولید کلروفیـل اسـت و در نتیجه بر رشد گیاه مؤثر است.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و کود نانو بر اجزای عملکرد لوبیاقرمز

Table 5. Analysis of variance of the effect of drought stress and nano fertilizer treatments on yield components of bean

منبع تغییر **Source of variation**	درجه آزادی **Degrees of freedom**	میانگین مربعات **Mean of Squares** طول شاخه اصلی **Stem height**	تعداد شاخه‌های فرعی **Number of branches**	تعداد غلاف در بوته **Number of pods per plant**	تعداد دانه در غلاف **Number of seeds per pod**
بلوک Block	2	25.008 n.s	3.210 n.s	3.128 n.s	0.550 n.s
تنش خشکی Drought stress	2	805.812 **	4.154 *	4.520 *	8.554 *
اشتباه اصلی Main error	4	10.345	0.265	0.911	3.890
کود نانو Nano fertilizer	2	482.101 **	1.133 *	2.212 *	6.817 n.s
اثر متقابل Interaction effect	4	141.419 **	1.051 *	1.996 *	4.551 n.s
اشتباه فرعی Sub error	12	7.901	0.187	0.870	4.346
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)	-	8.546	7.129	6.556	10.818

**، *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد؛ n.s: غیرمعنی‌دار

*, **: Significant at 5%, 1% levels, respectively; n.s: Non-significant

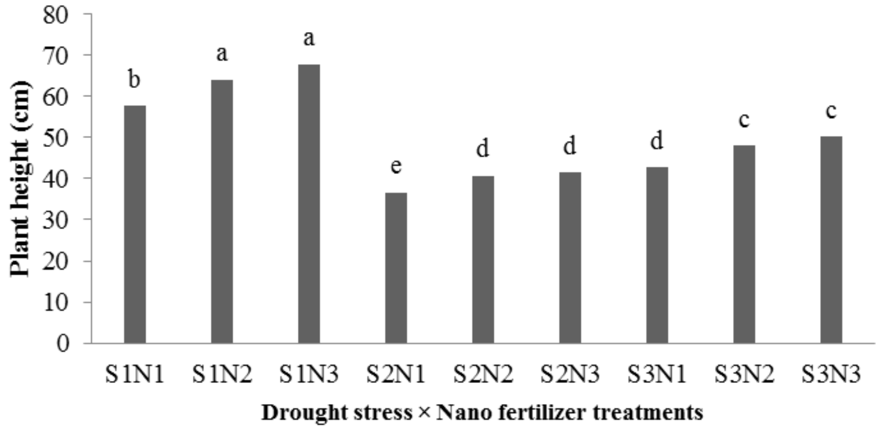
جدول ۶- تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و کود نانو بر عملکرد و محتوی پروتئین لوبیاقرمز

Table 6. Analysis of variance of the effect of drought stress and nano fertilizer treatments on yield and protein content of bean

منبع تغییر **Source of variation**	درجه آزادی **Degrees of freedom**	میانگین مربعات **Mean of Squares** وزن۱۰۰دانه **100 Seeds weight**	عملکرد دانه **Seed yield**	عملکرد بیولوژیک **Biological yield**	محتوی پروتئین دانه **Seed protein content**	عملکرد پروتئین دانه **Seed protein yield**
بلوک Block	2	1.55 n.s	12361.7 n.s	6852690.63 n.s	1.30 n.s	12.52 n.s
تنش خشکی Drought stress	2	8.22 *	4123845.10*	19330644.27 *	19.77 **	198.21 **
اشتباه اصلی Main error	4	2.24	9923.02	8020025.74	3.98	18.00
کود نانو Nano fertilizer	2	7.83	453868.92 *	9196291.26 **	5.12 n.s	78.46 **
اثر متقابل Interaction effect	4	6.15 *	148072.97 **	7572433.92*	4.31 n.s	59.73 *
اشتباه فرعی Sub error	12	1.13	456.30	6665415.90	3.79	11.49
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)	-	11.80	9.83	8.10	12.44	9.31

**، *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد؛ n.s: غیرمعنی‌دار

*, **: Significant at 5%, 1% levels, respectively; n.s: Non-significant

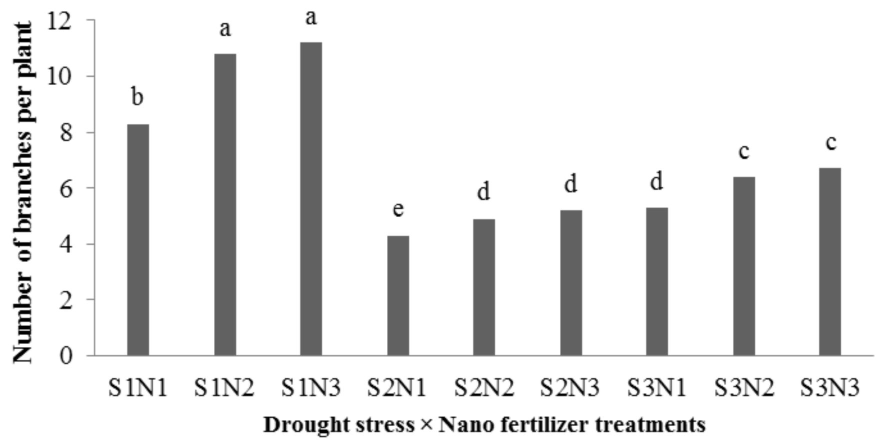


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و کود نانو بر طول شاخه اصلی گیاه لوبیاقرمز

Fig. 1. Mean comparison for interaction of drought stress and nano fertilizer on stem height of bean plant

S_1: بدون تنش، S_2: تنش درمرحله رشد رویشی، S_3: تنش درمرحله رشدزایشی؛ N_1: ۰، N_2: ۵، N_3: ۱۰کیلوگرم درهکتار کودنانوکلات آهن

S_1: No stress, S_2: Stress in vegetative growth stages, S_3: Stress in reproductive growth stages; N_1: 0, N_2: 5, N_3: 10 $kg.ha^{-1}$ nano-iron chelate fertilizer



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و کود نانو بر تعداد شاخه فرعی گیاه لوبیاقرمز

Fig. 2. Mean comparison for interaction of drought stress and nano fertilizer on number of branches per bean plant

S_1: بدون تنش، S_2: تنش درمرحله رشدرویشی، S_3: تنش درمرحله رشدزایشی؛ N_1: ۰، N_2: ۵، N_3: ۱۰کیلوگرم درهکتار کودنانوکلات آهن

S_1: No stress, S_2: Stress in vegetative growth stages, S_3: Stress in reproductive growth stages; N_1: 0, N_2: 5, N_3: 10 $kg.ha^{-1}$ nano-iron chelate fertilizer

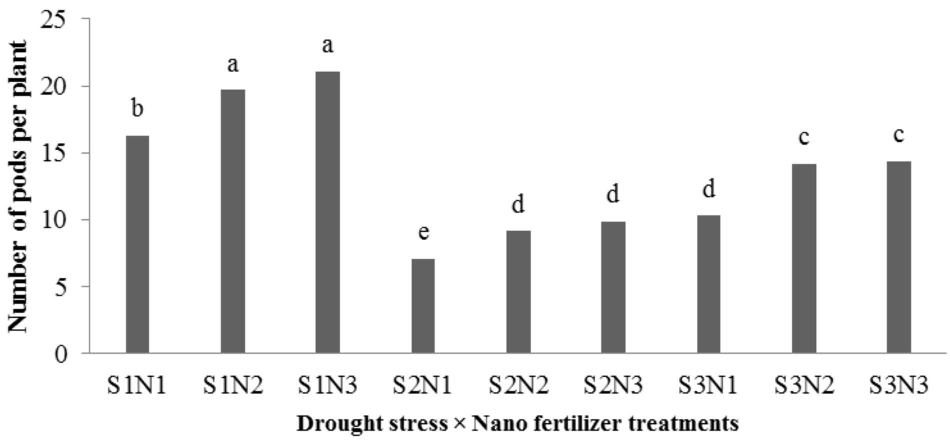
در تحقیقی دیگر روی نخود، گزارش شد مصرف آهن خصوصاً در موارد کمبود آهن می‌تواند رشد گیاه زراعی را بهبود بخشد (Ahmadi *et al*., 2019).

Khalaj *et al*, (2019) گزارش کردند در شرایط آب و هوایی شاهرود محلول‌پاشی ۰/۲۵گرم در لیتر نانوذرات آهن، ارتفاع ساقه لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna sinensis* L.) را به‌طور معنی‌داری و به میزان ۳۶/۸ درصد نسبت به عدم استفاده از کود نانوذرات آهن افزایش داد.

تعداد غلاف در بوته

تجزیه واریانس داده ها نشان داد که تنش خشکی، کود نانو و اثر متقابل تنش و کود بر صفت تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود (جدول ۵). مطابق با مقایسه میانگین اثر متقابل فاکتورها، بیشترین تعداد غلاف در بوته با میانگین ۲۱/۱ غلاف در بوته از تیمار بدون تنش و مصرف ۱۰ کیلوگرم در هکتار کود نانو (S_1N_3) حاصل شد. تفاوت آماری معنی‌داری بین این تیمار و تیمار بدون تنش و مصرف ۵ کیلوگرم در هکتار کود نانو (S_1N_2) مشاهده نشد (شکل ۳). کمترین میزان تعداد غلاف در بوته نیز با میانگین ۷/۱ غلاف در بوته در تیمار تنش

در مرحله رشد رویشی و بدون مصرف کود (S_2N_1) مشاهده گردید (شکل ۳). باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده دقیقاً همان تیمارهایی که منجر به حصول بیشترین و کمترین میزان طول شاخه اصلی و تعداد شاخه فرعی لوبیا شدند، اثر مشابهی را روی تعداد غلاف در بوته داشتند که با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار صفات طول شاخه اصلی و تعداد شاخه فرعی گیاه با تعداد دانه در غلاف نتیجه فوق قابل پیش‌بینی بود. در واقع تعداد غلاف در گیاه به میزان رشد رویشی و تعداد شاخه فرعی گیاه بستگی داشته و نتایج بررسی‌های محققان نشان داده است که کاهش رشد رویشی در اثر تنش خشکی منجر به کاهش تعداد غلاف در لوبیاقرمز می‌شود (Jamshidi *et al.*, 2016). در تحقیقی دیگر نیز مشخص شد که با کاهش آب مصرفی، تعداد غلاف در بوته لوبیاقرمز کاهش می‌یابد (Ghadimian *et al*., 2017). Khalaj *et al*, (2019) گزارش کردند که عدم مصرف کودهای آهن‌دار به‌ویژه نانوذرات آهن منجر به کاهش تعداد غلاف در بوته لوبیاقرمز می‌شود.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و کود نانو بر صفت تعداد غلاف در بوته گیاه لوبیاقرمز

Fig. 3. Mean comparison for interaction of drought stress and nano fertilizer on number of pods per bean plant

S_1: بدون تنش، S_2: تنش درمرحله رشدرویشی، S_3: تنش درمرحله رشدزایشی؛ N_1: ۰، N_2: ۵، N_3: ۱۰کیلوگرم درهکتار کودنانوکلات آهن

S_1: No stress, S_2: Stress in vegetative growth stages, S_3: Stress in reproductive growth stages; N_1: 0, N_2: 5, N_3: 10 kg.ha^{-1} nano-iron chelate fertilizer

تعداد دانه در غلاف

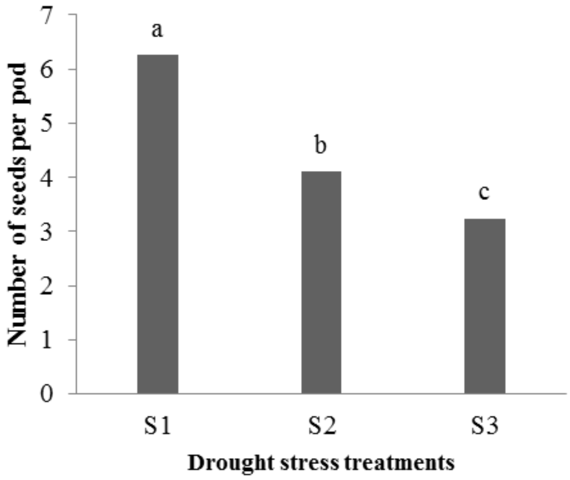
تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنها تنش خشکی اثر معنی‌داری بر صفت تعداد دانه در غلاف داشت و مصرف کود نانو و اثر متقابل تنش و کود نانو بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۵). مقایسه میانگین تیمار تنش خشکی نشان داد بیشترین و کمترین تعداد دانه در غلاف به‌ترتیب با میانگین‌های ۶/۲۶ و ۳/۱۴ دانه در غلاف مربوط به تیمار بدون تنش و تنش در مرحله رشد زایشی بود (شکل ۴). عدم تأمین مواد فتوسنتزی لازم برای رشد جنین و تکامل بذر، یکی از دلایل عمده کاهش تعداد دانه در غلاف در شرایط تنش در مرحله رشد زایشی می‌باشد. همچنین خشکی از طریق جلوگیری از رشد و نمو طبیعی غلاف‌ها، تعداد دانه در غلاف را کاهش می دهد. Boutraa & Sanders (2001) در تحقیقی بر روی لوبیا گزارش کردند که کمبود آب از گلدهی تا انتهای تشکیل دانه، اثر شدیدی بر عملکرد و اجزای عملکرد خواهد داشت. مطابق با گزارش این محققان مهم‌ترین جزء عملکرد که تحت تأثیر تنش در مرحله گلدهی قرار می‌گیرد، تعداد دانه در غلاف است. در تحقیقی دیگر گزارش شد کاهش شدید مواد فتوسنتزی به‌دلیل کاهش سطح و تعداد برگ‌ها در اثر ریزش و به تبع کاهش عرضه این مواد به سمت غلاف‌های در حال رشد است که نتیجه آن حفظ تعداد کمتر دانه در غلاف می‌باشد (Faisal Elgasim & Abdel Shakor, 2010). Ghadimian *et al*, (2017) گزارش کردند که وقوع تنش خشکی همزمان با مرحله گرده‌افشانی و لقاح، تعداد دانه‌های لوبیاقرمز در غلاف را به علت پسابیدگی دانه‌های گرده کاهش می‌دهد.

وزن۱۰۰دانه

اثر تیمارهای تنش خشکی، کود نانو و بر همکنش این دو فاکتور بر صفت وزن۱۰۰دانه معنی‌دار بود (جدول ۶). مطابق با مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها، بیشترین و کمترین وزن۱۰۰دانه به‌ترتیب با میانگین‌های ۲۹/۹ و ۱۹/۸ گرم مربوط به تیمارهای بدون تنش و مصرف ۱۰ کیلوگرم در هکتار کود نانو (S_1N_3) و تنش در مرحله رشد زایشی و عدم مصرف کود (S_3N_1) بود (شکل ۵). در آزمایشی بر روی لوبیاقرمز گزارش

شد که تنش خشکی از طریق کاهش سطح فتوسنتزکننده موجب کاهش مواد فتوسنتزی و در نتیجه کاهش وزن۱۰۰دانه می‌گردد. علاوه بر این گیاه برای کاهش اثرات سوء تنش، چرخه زندگی خود را کوتاه‌تر می‌نماید که این کاهش طول دوره رشد منجر به کوتاه‌ترشدن طول دوره پرشدن دانه و در نهایت وزن نهایی دانه می‌شود (Jamshidi *et al*., 2016).

Borges *et al*, (2009) در تحقیقی نشان دادند که مصرف کودهای آهن‌دار سبب افزایش وزن دانه‌های گیاه ذرت می‌شود. آن‌ها افزایش وزن دانه تحت شرایط مصرف آهن را به تأثیر مستقیم عنصر آهن در سنتز کلروفیل، افزایش میزان مواد فتوسنتزی و انباشت بیشتر مواد هیدرات کربنی در دانه نسبت دادند. Torabian & Zahedi (2013) در آزمایشی بر روی تأثیر تغذیه برگی سولفات آهن به دو شکل معمول و نانوذرات بر رشد ارقام آفتابگردان گزارش کردند که وزن بذر در طبق و وزن۱۰۰دانه در اثر مصرف کودهای نانوذرات، افزایش معنی‌داری در مقایسه با تیمار بدون مصرف آهن داشت.

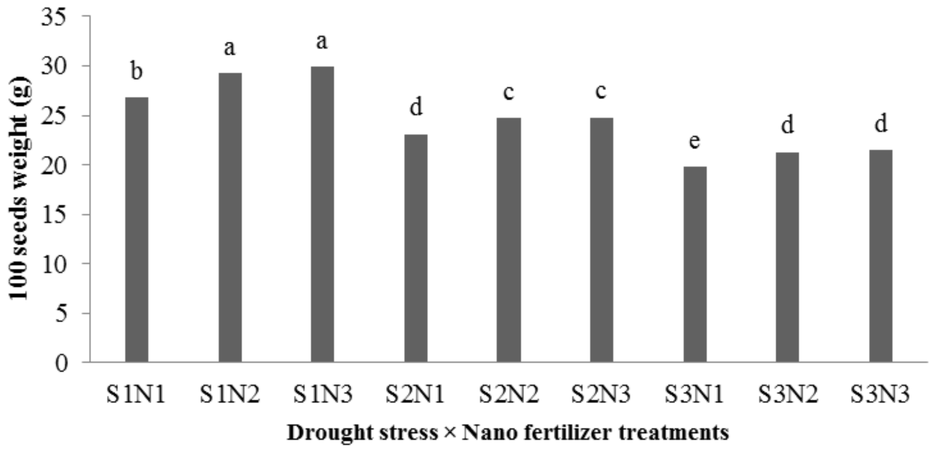


شکل ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارهای تنش خشکی بر صفت تعداد دانه در غلاف گیاه لوبیاقرمز

Fig. 4. Mean comparison for effect of drought stress treatments on number of seeds per pod of bean plant

S_1: بدون تنش، S_2: تنش در مرحله رشد رویشی، S_3: تنش در مرحله رشد زایشی

S_1: No stress, S_2: Stress in vegetative growth stages, S_3: Stress in reproductive growth stages



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و کود نانو بر صفت وزن۱۰۰دانه گیاه لوبیاقرمز

Fig. 5. Mean comparison for interaction of drought stress and nano fertilizer on 100 seeds weight of bean plant

S_1: بدون تنش، S_2: تنش درمرحله رشدرویشی، S_3: تنش درمرحله رشدزایشی؛ N_1: ۰، N_2: ۵، N_3: ۱۰کیلوگرم درهکتار کودنانوکلات آهن

S_1: No stress, S_2: Stress in vegetative growth stages, S_3: Stress in reproductive growth stages; N_1: 0, N_2: 5, N_3: 10 kg.ha^{-1} nano-iron chelate fertilizer

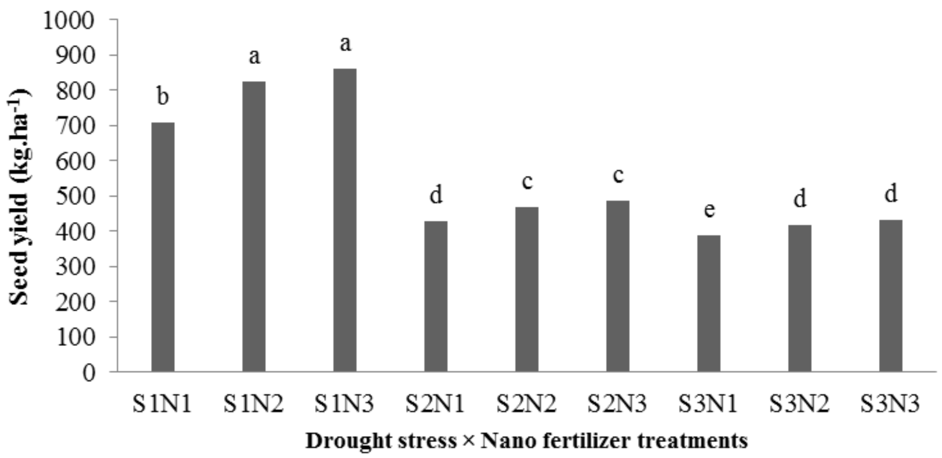
عملکرد دانه

مطابق با نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر تـنش خشـکی، کودهای نانوکلات آهن و اثر متقابل این دو فـاکتور بـر عملکـرد دانه لوبیا معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثـر متقابـل فاکتورهـا نشـان داد کـه بیشـترین عملکـرد دانـه بـا میـانگین ۸۶۱/۴کیلـوگرم در هکتـار از تیمـار بـدون تـنش و مصـرف ۱۰کیلوگرم در هکتار کود نانوکلات آهن (S_1N_3) به‌دست آمـد. البته تفاوت آماری معنی‌داری بین ایـن تیمـار بـا تیمـار بـدون تنش و مصرف ۵ کیلوگرم در هکتار کود نانوکلات آهن (S_1N_2) وجود نداشت. اما بین این دو تیمار با تیمار بدون تنش و بـدون کاربرد کـود (S_1N_1) تفـاوت آمـاری معنـی‌داری مشـاهده شـد (شکل ۶) که در واقع نشان‌دهنده اثر مثبت کودهـای نـانوکلات آهن بر عملکرد دانه لوبیاقرمز است. همچنین مصـرف کودهـای نانوکلات آهن اثر تعدیل‌کنندگی شدت تنش در هـر دو مرحلـه رشدی گیاه (رویشی و زایشی) را بر عملکرد دانـه گیـاه از خـود نشان داد، به‌طوری‌که در شرایط تنش در مرحله رشـد رویشـی، مصرف ۱۰ و ۵ کیلوگرم در هکتار کود به‌ترتیب سـبب افـزایش ۱۳/۹۲ و ۹/۷۷ درصـدی عملکـرد در مقایسـه بـا تیمـار بـدون مصرف کود در شرایط وقوع تنش در این مرحله از رشـد شـد و در شـرایط تـنش در مرحلـه رشـد زایشـی نیـز، مصـرف ۱۰ و ۵کیلوگرم در هکتار کود به‌ترتیب سبب افزایش ۱۱/۱۴ و ۷/۴۷ درصدی عملکـرد در مقایسـه بـا تیمـار بـدون مصـرف کـود در شـرایط وقـوع تـنش در ایـن مرحلـه (S_3N_1) شـد (شـکل ۶). کمترین عملکرد دانه لوبیا نیز بـا میـانگین ۳۸۸/۴ کیلـوگرم در هکتار از تیمار تنش در مرحله رشد زایشی و بدون مصرف کـود (S_3N_1) به‌دست آمد (شکل ۶). مطابق با نظـر محققـان، تـنش کمبود آب از طریق کاهش سطح بـرگ، بسـته‌شـدن روزنـه‌هـا، کاهش قابلیت هدایت روزنه‌هـا، کـاهش آبگیـری کلروپلاسـت و سایر بخش‌های پروتوپلاسم، کاهش سنتز پـروتئین و کلروفیـل سبب کاهش فتوسنتز می‌گردد. انتقال مواد فتوسنتزی نیز تحت تأثیر تنش کم‌آبی کاهش یافته و موجب تجمع و اشباع برگ‌هـا از این مواد می‌گردد و در نتیجه فتوسنتز را محـدود مـی‌نمایـد؛ محدودشدن فتوسنتز نیز رشد گیاه و عملکرد آن را کاهش مـی دهد (Hopkins & Huner, 2004). در آزمایشـی بـه منظـور بررسی اثر کم‌آبی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد ارقام لوبیـا گزارش شد کـه تجمـع مـاده خشـک، سـرعت رشـد محصـول، سرعت رشد نسبی و عملکرد دانه بر اثر قطع آبیاری در مراحـل زایشی (مراحل گلدهی و پرشـدن دانـه) بـه‌طـور قابـل‌تـوجهی کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که درصد کاهش عملکرد دانه در تیمـار قطع آبیاری در مراحل گلدهی و پرشدن دانه نسـبت بـه حالـت آبیاری کامل، حدود ۴۰/۲۵ درصد بـود (Zafarani-Moattar *et al.*, 2012). همچنین همان‌طورکه قبلاً ذکـر شـد، افـزایش عملکرد دانه تحت شرایط مصرف آهن را می‌توان به نقش آهـن در افزایش سنتز کلروفیل، میزان مواد فتوسنتزی و انباشت مواد هیدرات کربنی در دانه مرتبط دانست که نتیجـه آن در نهایـت افزایش عملکرد محصول زراعی را بـه دنبـال دارد (Borges *et al.*, 2009). علاوه براین در برخی گزارش‌ها ذکر شده است که کمبود آهن، همـواره موجـب ازبـین‌رفـتن کلروفیـل و تخریـب ساختمان کلروپلاسـت و کـاهش فعالیـت آنـزیم‌هـای اکسـیداز نظیرکاتالاز و پراکسیداز می‌گـردد کـه ایـن امـر سـبب کـاهش شدید نرخ فتوسنتزی گیاه می‌گردد (Ahmadi *et al*., 2019). در آزمایشی بر روی آفتابگردان به منظور بررسی تأثیر سـولفات آهن به دو شکل معمول و نانوذرات گزارش شد که عملکرد دانه در مقایسه با تیمار بـدون مصـرف آهـن افـزایش معنـی‌داری را نشـان مـی‌دهـد (Torabian & Zahedi, 2013). در همـین زمینه نتایج تحقیقی دیگر حاکی از افزایش عملکـرد دانـه لوبیـا در شرایط مصـرف نـانوذرات آهـن در مقایسـه بـا شـاهد (عـدم مصرف نانوذرات) بود (Khalaj *et al*., 2019).

عملکرد بیولوژیک

تـنش خشـکی و کـود نـانو اثـر معنـی‌داری بـر عملکـرد بیولوژیک لوبیاقرمز داشتند. اثر متقابل ایـن دو فـاکتور نیـز بـر عملکـرد بیولوژیـک لوبیـا معنـی‌دار بـود (جـدول ۶). مقایسـه میانگین اثر متقابل فاکتور تنش خشکی و کود نیز نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک بـا میـانگین ۴۷۱۱/۹ کیلـوگرم در هکتار مربوط به تیمار آبیاری کامل و مصرف ۱۰ کیلوگرم کـود نانوکلات آهن (S_1N_3) بود. البته تفاوت آماری معنـی‌داری بـین این تیمار بـا تیمـار آبیـاری کامـل و مصـرف ۵ کیلـوگرم کـود نـانوکلات آهـن (S_1N_2) مشـاهده نشـد (شـکل ۷). کمتـرین عملکرد بیولوژیک لوبیا نیـز بـا میـانگین ۲۳۹۱/۸ کیلـوگرم در هکتار از تیمار تنش در مرحله رشد زایشی و بدون مصرف کـود (S_3N_1) به‌دست آمد (شکل ۷).

مطابق با تحقیقات انجام‌شده بر روی لوبیا محققان گزارش کرده‌اند تنش‌های خشکی متوسط تا شدید خصوصاً تـنش‌هـایی که همزمان با مراحل گلدهی و گرده‌افشانی گیـاه بـه‌وقـوع مـی پیوندد، سـبب کـاهش شـدید زیسـت‌تـوده لوبیـا خواهـد شـد (Ramírez-Vallejo & Kelly, 1998). در همـین زمینـه در تحقیقی دیگر نشان داده شد که تنش خشکی همزمان با مرحله رشد زایشی گیاه سبب کاهش معنـی‌دار عملکـرد دانـه، زیسـت توده و شاخص برداشت لوبیا شده است (Padilla-Ramirez *et al*., 2005).



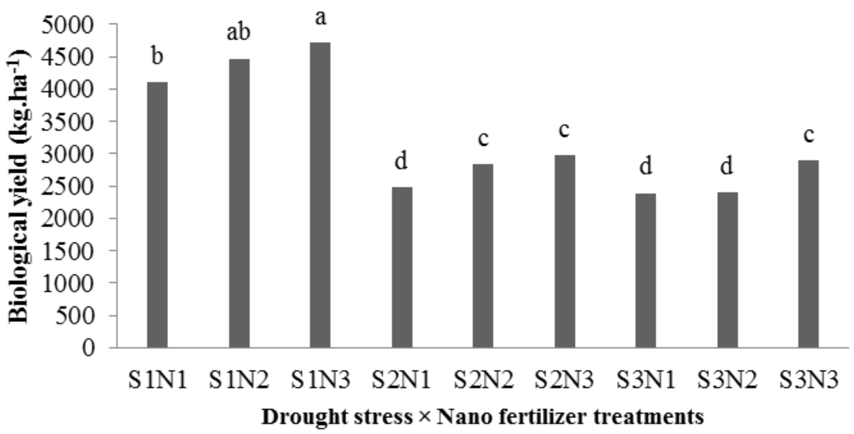
شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و کود نانو بر صفت عملکرد دانه گیاه لوبیاقرمز

Fig. 6. Mean comparison for interaction of drought stress and nano fertilizer on seed yield of bean plant

S_1: بدون تنش، S_2: تنش درمرحله رشدرویشی، S_3: تنش درمرحله رشدزایشی؛ N_1: ۰، N_2: ۵، N_3: ۱۰کیلوگرم درهکتار کودنانوکلات آهن

S_1: No stress, S_2: Stress in vegetative growth stages, S_3: Stress in reproductive growth stages; N_1: 0, N_2: 5, N_3: 10 kg.ha^{-1} nano-iron chelate fertilizer

در شرایط تنش خشکی، به دلیل کاهش مواد فتوسنتزی، وزن خشک بوته کاهش می‌یابد و گیاه برای فرار از خشکی و حفظ بقاء زودتر به گل می‌رود، بنابراین بیشترین مقدار وزن خشک در درجه‌روز رشد کمتری نسبت به شرایط بدون تنش به‌دست می آید. این کاهش همچنین می‌تواند تحت تأثیر تخصیص بیشتر زیست‌توده تولیدی گیاه به سمت ریشه‌ها و یا در اثر کاهش میزان کلروفیل و یا بازدهی فتوسنتز باشد (Khoshvaghti, 2006). بهبود عملکرد توسط نانوکلات می تواند ناشی از کارآیی کلات با ساختار نانو در رسانش و فراهمی بهینه عنصر آهن در فرایندهای فیزیولوژیکی باشد. احتمالاً با فعال‌شدن فرایندهای فیزیولوژیکی، کلروفیل‌سازی افزایش می‌یابد که در پی آن بهبود فرایند فتوسنتز اتفاق می‌افتد و نهایتاً منجر به افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی و حتی عملکرد دانه می‌شود که مجموع این پارامترها سبب افزایش عملکرد بیولوژیک لوبیا در شرایط مصرف نانوکلات‌های آهن می‌گردد.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و کود نانو بر صفت عملکرد بیولوژیک گیاه لوبیاقرمز

Fig. 7. Mean comparison for interaction of drought stress and nano fertilizer on biological yield of bean plant

S_1: بدون تنش، S_2: تنش درمرحله رشدرویشی، S_3: تنش درمرحله رشدزایشی؛ N_1: ۰، N_2: ۵، N_3: ۱۰کیلوگرم درهکتار کودنانوکلات آهن

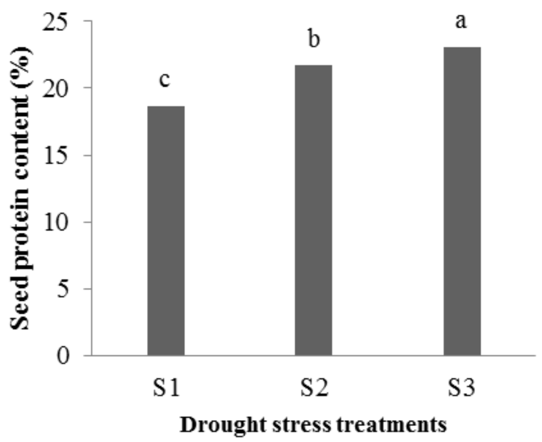
S_1: No stress, S_2: Stress in vegetative growth stages, S_3: Stress in reproductive growth stages; N_1: 0, N_2: 5, N_3: 10 kg.ha^{-1} nano-iron chelate fertilizer

Khalaj *et al,* (2019) در تحقیقی گزارش کردند که کاربرد ۰/۲۵گرم در لیتر کود نانوکلات آهن سبب افزایش ۴۰/۸درصدی شاخص سطح برگ لوبیا چشم‌بلبلی در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف کود) گردید.

Ahmadi *et al,* (2019) در پژوهشی روی گیاه نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) مشخص نمودند که با کاربرد توأم محلول‌پاشی و خاک کاربرد کود کلات آهن به میزان ۱۰کیلوگرم در هکتار در مرحله گلدهی، می‌توان به عملکرد بیولوژیک ۳۶۸۳ کیلوگرم در هکتار دست یافت که ۲۵ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) برتری داشت.

درصد پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنها فاکتور تنش خشکی اثر معنی‌داری بر غلظت پروتئین دانه داشت (جدول ۶). مقایسه میانگین تیمارهای تنش خشکی نشان داد که بیشترین غلظت پروتئین دانه از تیمار قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی با میانگین ۲۳/۱۱ درصد به دست آمد. کمترین میزان آن نیز از تیمار آبیاری کامل با میانگین ۱۸/۶۸ درصد حاصل شد (شکل ۸). Emadi *et al,* (2012) بیان کردند که در شرایط تنش خشکی جذب و تثبیت دی‌اکسید کربن بر اثر بسته‌شدن روزنه‌ها کاهش می‌یابد. در نتیجه میزان کل مواد پرورده برای پرشدن دانه کاهش می‌یابد، در حالی که انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها به دانه کاهش نمی‌یابد. این امر سبب افزایش درصد پروتئین دانه می‌شود. افزایش درصد پروتئین دانه گیاهان در شرایط خشکی توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (Davoodi *et al.,* 2018; Kordi *et al.,* 2016).



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر تیمار تنش خشکی بر صفت غلظت پروتئین دانه گیاه لوبیاقرمز

Fig. 8. Mean comparison for effect of drought stress treatments on seed protein content of bean plant

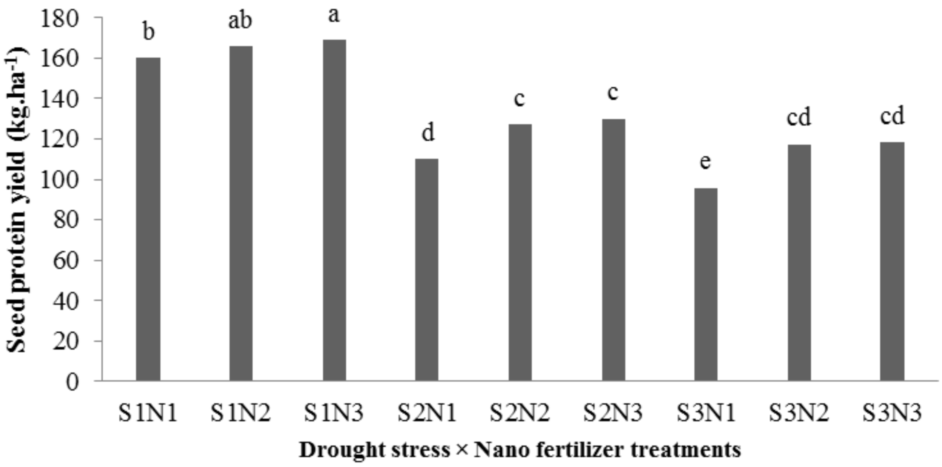
S_1: بدون تنش، S_2: تنش در مرحله رشد رویشی، S_3: تنش در مرحله رشد زایشی

S_1: No stress, S_2: Stress in vegetative growth stages, S_3: Stress in reproductive growth stages

عملکرد پروتئین دانه

نتایج نشان داد که عملکرد پروتئین دانه تحت تأثیر تنش خشکی، مصرف کود نانوکلات آهن و اثر متقابل تنش و کود قرار گرفت (جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان عملکرد پروتئین دانه از تیمار آبیاری کامل و مصرف ۱۰ کیلوگرم کود نانوکلات آهن با میانگین ۱۶۹/۲کیلوگرم در هکتار حاصل شد. البته تفاوت معنی‌داری بین این تیمار با تیمار آبیاری کامل و مصرف ۵ کیلوگرم کود نانوکلات آهن با میانگین ۱۶۵/۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده نشد. کمترین عملکرد دانه نیز از تیمار قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و عدم مصرف کود نانو با میانگین ۹۵/۸ کیلوگرم در هکتار حاصل گردید (شکل ۹). از آنجا که عملکرد پروتئین دانه از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد پروتئین دانه حاصل می‌شود و از طرفی همبستگی و رابطه مستقیم بین عملکرد دانه با عملکرد پروتئین دانه وجود دارد، بنابراین بالابودن عملکرد پروتئین دانه در تیمار آبیاری کامل و مصرف ۱۰کیلوگرم کود نانوکلات آهن (تیماری که منجر به حصول بالاترین عملکرد دانه لوبیا شد) قابل پیش‌بینی بود.

Kordi *et al,* (2016) نشان دادند بالاترین عملکرد پروتئین دانه لوبیاقرمز از تیماری حاصل شد که دارای بالاترین عملکرد دانه بود.



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و کود نانو بر صفت عملکرد پروتئین دانه گیاه لوبیاقرمز

Fig. 9. Mean comparison of interaction effect of drought stress and nano fertilizer on seed protein yield of bean plant

S_1: بدون تنش، S_2: تنش درمرحله رشدرویشی، S_3: تنش درمرحله رشدزایشی؛ N_1: ۰، N_2: ۵، N_3: ۱۰کیلوگرم درهکتار کودنانوکلات آهن

S_1: No stress, S_2: Stress in vegetative growth stages, S_3: Stress in reproductive growth stages; N_1: 0, N_2: 5, N_3: 10 kg.ha^{-1} nano-iron chelate fertilizer

همبستگی ساده بین صفات

به منظور بررسی رابطـه موجـود بـین صـفات مربـوط بـه عملکرد، اجزای عملکرد و محتوی پروتئین دانـه گیـاه لوبیـا در این آزمایش، همبستگی ساده بین این صـفات محاسـبه گردیـد (جدول ۷).

رابطه بین طول شاخه اصلی با تعداد شاخه فرعـی، تعـداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن۱۰۰دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک و همچنین درصد و عملکـرد پـروتئین دانـه مثبـت و معنی‌دار بود. عملکرد دانه و بیولوژیک لوبیا نیز بـا تمـام صـفات مورد بررسی رابطه مثبت و معنی‌داری داشت.

مطـابق بـا تحقیـق Rahnamaei Tak *et al*, (2007) بیشترین همبستگی صفت عملکرد دانه تک‌بوته لوبیا به‌ترتیب با صفات وزن۱۰۰دانه، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غـلاف مـی‌باشـد. Marsafari *et al*, (2016) گـزارش کردنـد تعـداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غـلاف و وزن۱۰۰دانـه همبسـتگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه لوبیا داشتند. این محققان به به‌نژادگران توصیه کردند از طریـق سـه متغیـر عمـده و اصـلی یادشده جهت افزایش میزان عملکرد دانه اقدام نماید. همچنـین در آزمایشی دیگر Mohammadi *et al*, (2008) یافتند که در شرایط تنش صفت تعداد دانـه در غـلاف بیشـترین تـأثیر را بـر عملکرد دانه لوبیا دارد. این محققان توصـیه نمودنـد در شـرایط تنش آبی هرچه میـانگین تعـداد دانـه در غـلاف بیشـتر باشـد، کاهش عملکرد دانه ناشی از تنش خشکی را جبران مـی‌کنـد و بهتر است در مناطق با مشکل کم‌آبـی ارقـام پردانـه را انتخـاب کرد تا محصول با کمترین کاهش عملکرد مواجه شود.

Amini *et al*, (2002) نشان دادند کـه تعـداد غـلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن۱۰۰دانه و ارتفاع بوتـه بیشـترین تأثیر را بر عملکرد دانه لوبیا دارند.

بالاترین همبسـتگی نیـز بـین عملکـرد دانـه بـا عملکـرد پروتئین با R^2= ۰/۹۵ مشاهده شد. همان‌طورکه در بخش قبلی اشاره شد، هرچه عملکـرد دانـه بیشـتر باشـد، بـالتبع عملکـرد پروتئین نیز افـزایش مـی‌یابـد. همچنـین همبسـتگی مثبـت و معنی‌داری بین درصـد پـروتئین و عملکـرد پـروتئین مشـاهده گردید. در این آزمایش تنها بین صفات تعـداد دانـه در غـلاف و وزن۱۰۰دانه با R^2= -۰/۶۹، و تعداد غلاف در بوته و تعداد دانـه در غلاف با R^2= -۰/۵۲ رابطه منفـی و معنـی‌دار مشـاهده شـد. علاوه بر این روابط بین تعـداد شـاخه فرعـی بـا تعـداد دانـه در غلاف و وزن۱۰۰دانه؛ تعداد غـلاف در بوتـه بـا وزن۱۰۰دانـه، و همچنین بین تعداد دانه در غلاف با درصد پروتئین دانـه منفـی بود، اما از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۷).

Rahnamaei Tak *et al*, (2007) نیـز گـزارش کردنـد وزن۱۰۰دانه لوبیا همبستگی منفی بـا صـفات تعـداد غـلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف دارد.

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی لوبیاقرمز
Table 7. Correlation coefficients between the studied traits of bean

صفات Traits	طول شاخه اصلی Stem height	تعداد شاخه های فرعی Number of branches	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	وزن۱۰۰دانه 100 seeds weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	محتوی پروتئین دانه Seed protein content	عملکرد پروتئین دانه Seed protein yield
طول شاخه اصلی Stem height	1								
تعداد شاخه‌های فرعی Number of branches	0.65**	1							
تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	0.79**	0.83**	1						
تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	0.15	-0.09	-0.52*	1					
وزن۱۰۰دانه 100 Seeds weight	0.58*	-0.06	-0.11	-0.69**	1				
عملکرد دانه Seed yield	0.70**	0.80**	0.86**	0.92**	0.91**	1			
عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.81**	0.83**	0.80**	0.89**	0.90**	0.94**	1		
محتوی پروتئین دانه Seed protein content	0.61*	0.64**	0.09	-0.11	0.85**	0.77**	0.72**	1	
عملکرد پروتئین دانه Seed protein yield	0.69**	0.73**	0.81**	0.84**	0.90**	0.95**	0.75**	0.89**	1

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵درصد و ۱درصد

*, **: Significant at 5% and 1% levels, respectively

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج آزمایش نشان داد که تنش در هر مرحله‌ای از رشد، سبب کاهش رشد و عملکرد گیاه لوبیاقرمز می‌شود، اما شدت اثرات سوء تنش بر عملکرد دانه و بیولوژیک گیاه در زمان مراحل رشد زایشی گیاه شدیدتر خواهد بود.

کاربرد کودهای نانوکلات در هر یک از شرایط بدون تنش، تنش در مرحله رشد رویشی و تنش در مرحله رشد زایشی در مقایسه با عدم مصرف این نوع کود، اثر مثبت بر خصوصیات رشدی و عملکرد گیاه داشت، به‌طوری‌که تنها برای عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و مصرف ۱۰ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش ۱۶/۲۰ درصدی در مقایسه با تیمار بدون مصرف کود گردید.

همچنین مصرف نانوکلات‌های آهن در شرایط تنش سبب جلوگیری از افت بیشتر عملکرد در مقایسه با شرایط بدون استفاده از کود می‌شود. البته ناگفته نماند که تفاوت آماری معنی‌داری بین ۱۰ و ۵ کیلوگرم در هکتار کود نانوکلات‌های آهن برای عملکرد دانه و بیولوژک لوبیا در هریک از شرایط بدون تنش و تنش وجود نداشت. با توجه به نتایج آزمایش پیشنهاد می‌گردد که برای زراعت گیاه لوبیاقرمز جهت حصول عملکرد مطلوب، با آبیاری به‌موقع از هرگونه تنش آبی جلوگیری شود، چراکه کاهش محسوس عملکرد را در پی خواهد داشت.

در شرایط آبیاری مطلوب نیز استفاده از ۵کیلوگرم در هکتار کود نانوکلات‌های آهن (با توجه به عدم معنی‌دارشدن مصرف ۵ با ۱۰ کیلوگرم در هکتار کود) سبب افزایش معنی‌دار عملکرد در مقایسه با عدم استفاده از آن خواهد شد.

در مواقعی نیز که زراعت محصول به ناچار با تنش آبی مواجه گردد، استفاده از ۵ کیلوگرم در هکتار کود نانو می‌تواند تا حدود زیادی منجر به جبران خسارت ناشی از تنش در مقایسه با شرایط بدون استفاده از کود شود.

منابع

1. Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Abdeshah, H., and Kazemian, A. 2018. Agricultural Statistics, Volume I: Crop Plants. Crop Season of 2018-2019. Ministry of Agriculture-Jihad Press. 89 p. (In Persian).
2. Ahmadi, L., Ghobadi, M., Saeidi, M., and Ghaderi, J. 2019. The effect of supplemental irrigation, time and methods of Fe fertilizer application on qualitative and quantitative traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Iranian Journal of Pulses Research 10(2): 119-131. (In Persian with English Summary).
3. Alizadeh, A. 2004. Soil, Water, Plant Relationship. Imam Reza Press. 472 p. (In Persian).
4. Amini, A., Ghannadha, M., and Abd-mishani, C. 2002. Genetic diversity and correlation between different traits in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Iranian Journal of Agriculture Science 33(4): 605-615. (In Persian with English Summary).
5. Baghaie, N., and Maleki Farahani, S. 2014. Comparison of Nano and micro Chelated iron fertilizers on quantitative yield and assimilates allocation of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Saffron Research 1(2): 156-169. (In Persian with English Summary).
6. Barmaki, S., Modarres Sanavy, M., and Mehdizadeh, V. 2010. Application of nanotechnology in order to chemical fertilizers optimal consumption with emphasis on nanofertilizers. The 1st Iranian Fertilizer Challenges Congress, Tehran. 1-11. (In Persian).
7. Borges, I.D., Von Pinho, R.C., and Pereira, A.R. 2009. Micronutrients accumulation at different maize development stages. Science Agrotecnic Lavras 33(4): 1018-1025.
8. Boutraa, T., and Sanders, F.E. 2001. Influence of water stress on grain yield and vegetative growth of two cultivars of bean (*Phaseolus vulgaris* L.*)*. Journal of Agronomy Crop Science 187: 251-257.
9. Davoodi, S.H., Rahemi-karizaki, A., Nakhzari-moghadam, A., and Gholamalipour Alamdari, E. 2018. The Effect of deficit Irrigation on yield and physiological traits of bean cultivars. Plant Production Technology 18(1): 83-95. (In Persian with English Summary).
10. Emadi, N., Baloochi, H.R., and Jahanbin, S. 2012. Effect of drought stress on yield, yield components and some of morphological traits of bean genotype COS16. Electronic Journal of Plant Production 5: 1-17. (In Persian with English Summary).
11. Faisal Elgasim, A., and Abdel Shakoor, H.S. 2010. Effect of water stress applied at different stages of growth on seed yield and water-use efficiency of cowpea. Agriculture and Biology Journal of North America 1(4): 534-540.
12. Ghadimian, T., Madani, H., and Gomarian, M. 2017. Effect of irrigation hult and humic acid foliar application on agronomic, qualitative and physiological characteristics in red bean cultivar D81083. Iranian Journal of Pulses Research 8(2): 141-155. (In Persian with English Summary).
13. Ghanbari, A.A. 2015. Developmental stages and phenology of common bean genotypes under normal irrigation and water deficit conditions. Agronomy Journal 107: 190-199. (In Persian).
14. Heidari Sharifabadi, H. 2000. Plant, Water Stress and Drought. Ministry of Sazandegi-Jihad Press, Research Institute of Forests and Rangelands. 200 p. (In Persian).
15. Hopkins, W.G., and Huner, N.P.A. 2004. Introduction to Plant Physiology. John Willy and Sons, Inc., New York, USA.
16. Jalil Shesh Bahre, M., and Movahedi Dehnavi, M. 2012. Effect of zinc and iron foliar application on soybean seed vigor grown under drought stress. Electronic Journal of Crops Production 5(1): 19-35. (In Persian with English Summary).
17. Jamshidi, M., Danesh-Shahraki, A., and Hashemi-Jazi, M. 2016. Effect of foliar application of Manganese and Zinc on grain yield and yield components of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in drought conditions. Iranian Journal of Pulses Research 7(2): 164-174. (In Persian with English Summary).
18. Khalaj, H., Baradarn Firouzabadi, M., and Delfani, M. 2019. Effect of nano iron and magnesium chelate fertilizers on growth and grain yield of *Vigna sinensis* L. Journal of Plant Process and Function 9(35): 160-177. (In Persian with English Summary).
19. Khoshvaghti, H. 2006. Effect of water limitation on growth rate, grain filling and yield of three pinto bean cultivars. MSc. Thesis. Tabriz Universit. Iran. (In Persian with English Summary).
20. Kordi, S., Marsafari, M., Tahmasebi, Z., Shahkarami, Gh., Gerami, L., Taghizadeh, A.A., and Ghanbari, F. 2016. Effect of foliar application of zinc on yield, grain and straw protein of bean (*Phaseolus vulgaris*) under water deficit stress in Ilam weather condition. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 111: 115-124. (In Persian with English Summary).

21. Marsafari, M., Kordi, S., and Tahmasebi, Z. 2016. Correlation and path analysis for grain yield and yield dependent traits in some common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. Journal of Plant production Sciences 6(1): 33-44. (In Persian with English Summary).
22. Mohammadi, A., Bihamta, M.R., and Dari. H.R. 2008. Determining of correlation coefficient and path analysis of some traits on chiti bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under non-stress and drought stress conditions. Journal of Agricultural Research: Water, Soil and Plant in Agriculture 8(2): 135-144. (In Persian with English Summary).
23. Movahedy Dehnavy, M., Modarres Sanavy, S.A.M., and Mokhtassi Bidgoli, A. 2009. Foliar application of Zinc and manganese improves seed yield and quality of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. Industrial Crops and Products 30: 82-99.
24. Padilla-Ramirez, K.S., Acosta-Gallegos, K.A., Acosta- Diaz, E., Mayek-Perez, N., and Kelly, J.D. 2005. Partitioning and partitioning rate to seed yield in drought stressed and non stressed dry bean genotypes. Bean Improvement Cooperative, New York 48: 153-153.
25. Piper, C.S. 2019. Soil and Plant Analysis. Scientific Publishers. 368 p.
26. Peyvandi, M., Parandeh, H., and Mirza, M. 2015. Comparison of nano Fe and Fe chelate fertilizers on the quality and the quantity of *Ocimum basilicum* L. essential oil. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 31(2): 185-193. (In Persian with English Summary).
27. Rahnamaei Tak, A., Vaezi, Sh., Mozaffari, J., and Shahnejat Boushehri, A.A. 2007. Study on correlation and path analysis for seed yield per plant and its dependent traits in red bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Pajouhesh & Sazandegi 76: 80-88. (In Persian with English Summary).
28. Ramírez-Vallejo, P., and Kelly, J.D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica 99: 127-136.
29. Raval, V., and Navarro, D.K. 2019. The Global of Economy Pulses. FAO Publishers. 174 p.
30. Rezaei, R., Hosseini, M., Shabanali Fami, H., and Safa, L. 2009. Identification and analysis of the barriers of nanotechnology development in the iranian agricultural sector from the viewpoint of the researchers. Journal of Science & Technology Policy 2(1): 17-20. (In Persian with English Summary).
31. Shojaei, H., and Makarian, H. 2014. The Effect of nano and non-nano zinc oxide particles foliar application on yield and yield components of mungbean (*Vigna radiate*) under drought stress. Iranian Journal of Field Crop Research 12(4): 727-737. (In Persian with English Summary).
32. Silva, D.D., Kane, M.E., and Beeson, R.C. 2012. Changes in root and shoot growth and biomass partition resulting from different irrigation intervals for *Ligustrum japonicum* Thunb. Horticulture Science 47(11): 1634-1640.
33. Torabian, Sh., and Zahedi, M. 2013. Effects of foliar application of common and nano-sized of iron sulphate on the growth of sunflower cultivars under salinity. Iranian Journal of Field Crop Research 44(1): 109-118. (In Persian with English Summary).
34. Zafarani-Moattar, P., Raey, Y., Ghasemi Golezani, K., and Mohammadi, S.A. 2012. Effect of limited irrigation on growth and yield of bean cultivars. Agricultural Sciences and Sustainable Production 21(4): 85-94. (In Persian with English Summary).

Iranian Journal of Pulses Research
Homepage: **https://ijpr.um.ac.ir**
Vol. 13, No. 1, June 2022, p. 55-72 (Original Research Article)

The effect of iron nano-chelate fertilizer on yield, yield components and seed protein content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress

Ghasemi[1], Sahar; Piri[2], Issa; and Tavassoli[3*], Abolfazl

1. MSc. Graduate of Agronomy, Department of Agriculture, Payame Noor University, Zahedan Center, Iran; ghasemi.sahar@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran; issapiri@pnu.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran; a.tavassoli@pnu.ac.ir

Received: 8 February 2021; **Revised:** 18 October 2021
Accepted: 9 November 2021; **Available Online:** 22 June 2022

How to cite this article:
Ghasemi, S., Piri, I., and Tavassoli, A. 2022. The effect of iron nano-chelate fertilizer on yield, yield components and seed protein content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. Iranian Journal of Pulses Research 13(1): 55-72. (In Persian with English Summary). DOI: 10.22067/ijpr.v13i1.2101-1001

Introduction

Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the second most important legume plant after soybean, accounting for a major share of the diet of more than 300 million people worldwide. However, bean cultivation is always faced with several limitations, among these production limited factors, drought stress is the most important factor and has a considerable effect in reducing the production of this crop. One of the harmful effects of drought stress is disturbing the nutritional balance in the plant, so that due to drought stress, the mobility of nutrients in the soil is reduced and the absorption and transfer of substances to the plant is impaired. Studies show that nano-iron chelate fertilizer has a moderating effect against changes in drought, salinity, acidity and temperature and leads to improved plant growth. Hence, the present study was conducted to investigate of the role of nano fertilizer on increasing drought resistance of bean in Jiroft region.

Materials and Methods

A split-plot layout based on a randomized complete block design with three replications conducted in a farm located in Tohan village of Jiroft city during 2015-2016. The main factor was the drought stress with three levels included: no stress, stress in vegetative growth stages and stress in reproductive growth stages. Sub-factor consisted of different amounts of nano-iron chelate fertilizer at three levels of 0, 5 and 10 $kg.ha^{-1}$. In this study, stem height, number of branches per plant, number of pods per plant, number of seed per pod, 100 seeds weight, seed yield, biological yield, seed protein content and protein yield traits were measured. The obtained data were exposed to analysis of variance (ANOVA). Means comparison was done using Duncan's multiple range test using SAS software. Correlation coefficients between traits were calculated with SAS software.

Results and Discussion

According to the results, no stress treatment and application of 10 $kg.ha^{-1}$ of iron nano-chelate fertilizer led to the highest value of stem height, number of branches per plant, number of pods per plant, 100 seeds weight, seed yield, biological yield, seed protein content and protein yield. However, for the above traits, no statistically significant difference was observed between 10 and 5 $kg.ha^{-1}$ of fertilizer in no stress condition. Also, the occurrence of stress in both stages of vegetative and reproductive growth reduced the studied traits, so that the lowest value of stem height, number of branches and number of pods per plant were obtained from the occurrence of stress in vegetative growth stage, and the lowest amounts of number of seed per pod, 100 seeds weight, seed yield, biological yield and seed protein yield were obtained from the occurrence of stress in the reproductive growth stage. Among the studied traits, only the percentage of seed protein with stress treatments showed a significant increase that this increase was greater in stress in the reproductive growth stage. It should also be noted that the application of 10 and 5 $kg.ha^{-1}$ of iron nano-chelate fertilizer,

[*] **Corresponding Author:** a.tavassoli@pnu.ac.ir

respectively, in comparison with the treatment without fertilizer, in the occurrence of stress in both stages of plant growth moderates the effects of stress for all traits except seed protein percentage.

Conclusion

The results of this study showed that stress occurrence at any stage of growth reduces the growth and yield of the bean plant. This reduction will be more on the seed and biological yield of the plant if occurrence of stress is in the reproductive stages of the plant. Application of nano-chelate fertilizers in each one of the conditions without stress, stress in vegetative growth stage and stress in reproductive growth stage in comparison with not using this type of fertilizer will have a positive effect on growth characteristics and plant yield. There was no statistically significant difference between the application of 10 and 5 $kg.ha^{-1}$ of iron nano-chelate fertilizer for seed and biological yield of bean in each one of the no stress and stress conditions.

Keywords: Drought stress؛ Iron؛ Protein؛ Pulses؛ Yield